

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re U.S. Patent Application of)
TATSUNO et al.)
Application Number: 09/955,948)
Filed: September 20, 2001)
For: DIODE LASER CONTROLLING MODULE AND)
APPLIED EQUIPMENT THEREOF)



**Honorable Assistant Commissioner
for Patents
Washington, D.C. 20231**

**NOTICE OF PRIORITY
UNDER 35 U.S.C. 119
AND THE INTERNATIONAL CONVENTION**

Sir:

In the matter of the above-captioned application for a United States patent, notice is hereby given that the Applicant claims the priority date of June 27, 2001, the filing date of the corresponding Japanese patent priority application 2001-194159.

A certified copy of corresponding Japanese patent application 2001-194159 is being submitted herewith. The Examiner is most respectfully requested to acknowledge receipt of the certified copy in due course.


Stanley P. Fisher
Registration Number 24,344

REED SMITH HAZEL & THOMAS LLP
3110 Fairview Park Drive
Suite 1400
Falls Church, Virginia 22042
(703) 641-4200

JUAN CARLOS A. MARQUEZ
Registration No. 34,072

November 1, 2001



PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

This is to certify that the annexed is a true copy of the
following application as filed with this office.

Date of Application : June 27, 2001
Application Number : Patent Application No. 194159 of 2001
Applicant (s) : Hitachi, Ltd., and
OpNext Japan, Inc.

Dated this 17th day of September, 2001

Kouzou OIKAWA
Commissioner,
Patent Office

Certificate No. 2001-3085604



日本特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2001年 6月27日

出願番号

Application Number:

特願2001-194159

出願人

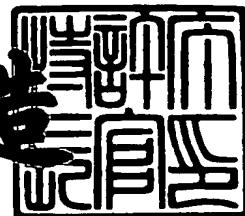
Applicant(s):

株式会社日立製作所
日本オプネクスト株式会社

2001年 9月17日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3085604

【書類名】 特許願
 【整理番号】 NT01P0677
 【提出日】 平成13年 6月27日
 【あて先】 特許庁長官 殿
 【国際特許分類】 H04J 14/00
 【発明者】
 【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所 中央研究所内
 【氏名】 立野 公男
 【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 日本オプネクスト株式会社内
 【氏名】 黒口 克己
 【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所 生産技術研究所内
 【氏名】 古市 浩朗
 【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 日本オプネクスト株式会社内
 【氏名】 山本 篤弘
 【発明者】
 【住所又は居所】 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所 機械研究所内
 【氏名】 中里 典生
 【特許出願人】
 【識別番号】 000005108
 【氏名又は名称】 株式会社日立製作所

【特許出願人】

【識別番号】 301005371

【氏名又は名称】 日本オプネクスト株式会社

【代理人】

【識別番号】 100068504

【弁理士】

【氏名又は名称】 小川 勝男

【電話番号】 03-3661-0071

【選任した代理人】

【識別番号】 100086656

【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 恭助

【電話番号】 03-3661-0071

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 081423

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ制御モジュールとその応用装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光源からの出射光の一部を第1の光束としてエタロンを透過させて第1の光検出手段に導くように構成し、前記出力光の他の少なくとも一部を第2の光束としてそのエタロンを透過することなく第2の光検出手段に導くように構成し、前記第1、第2の光検出手段で検出された前記第1、第2の光束の差を波長誤差信号とし、それに基づいて前記レーザ光源の発振周波数を所定値に維持するように構成され、

前記レーザ光源および前記エタロンは基板上に設けられ、
前記基板を介して前記レーザ光源および前記エタロンの温度を所定に温度制御するための温度制御手段を有し、

前記エタロンの前記基板への固定端から前記エタロンを透過する前記第1の光束の光軸までの距離にうち最短距離hが $1/e^2 \times (\text{ビーム半径}a)$ （ここでeは自然対数、 $1/e^2 \times (\text{ビーム半径}a)$ とは前記レーザ光の光強度分布がピーク強度に対して $1/e^2$ となる強度をたどった時に生じる円の半径）の（1/10）倍以上4倍以下であることを特徴とする光モジュール。

【請求項2】 前記エタロンは直方体状の形状を有し、前記基板上の設けられた前記エタロンの前記基板と接する面に対向する面の上を前記第2の光束が通過するように構成されたことを特徴とする請求項1記載の光モジュール。

【請求項3】 前記hが $1/e^2 \times (\text{ビーム半径}a)$ （ここでeは自然対数、 $1/e^2 \times (\text{ビーム半径}a)$ とは前記レーザ光の光強度分布がピーク強度に対して $1/e^2$ となる強度をたどった時に生じる円の半径）の（1/20）倍以上2倍以下であることを特徴とする請求項2記載の光モジュール。

【請求項4】 前記hが $3\mu\text{m}$ 以上4mm以下であることを特徴とする請求項2記載の光モジュール。

【請求項5】 前記基板上に設けられた前記エタロンの高さは前記第1の光束半径の（1/20）倍以上2倍以下であることを特徴とする請求項2記載の光モジュール

【請求項6】 前記基板上に設けられた前記エタロンの高さは3ミクロン以上4mm以下であることを特徴とする請求項2記載の光モジュール。

【請求項7】 前記基板は凸部を有し、前記凸部上に前記エタロンが設けられ、前記レーザ光源は前記基板の前記凸部以外の部分に台座を介して設けられていることを特徴とする請求項1記載の光モジュール。

【請求項8】 前記エタロンを跨ぐように前記基板上に覆いが設けられていることを特徴とする請求項1記載の光モジュール。

【請求項9】 前記覆いは前記エタロンの温度を前記基板の温度に近づけるためのものであり、前記基板および前記エタロンに接していることを特徴とする請求項8記載の光モジュール。

【請求項10】 前記覆いは前記第1、第2の光束が前記第1、第2の光検出手段に到達可能とするための開口を有することを特徴とする請求項8記載の光モジュール。

【請求項11】 前記出射光を2以上に分割することにより第1、第2の光束としていることを特徴とする請求項1記載の光モジュール。

【請求項12】 略平行な光束である前記出射光の一部を第1の光束とし、残りの少なくとも一部を第2の光束としていることを特徴とする請求項1記載の光モジュール。

【請求項13】 前記エタロンは直方体状の形状を有し、前記基板上の設けられた前記エタロンの前記基板と接する面に隣接する一の面に沿うように前記第2の光束が通過するように構成されたことを特徴とする請求項1記載の光モジュール。

【請求項14】 前記基板上に設けられた前記エタロンの高さは前記第1の光束半径の1/20倍以上4倍以下であることを特徴とする請求項13記載の光モジュール。

【請求項15】 前記基板上に設けられた前記エタロンの高さは3ミクロン以上4mm以下であることを特徴とする請求項13記載の光モジュール。

【請求項16】 レーザ光源からの出射光の一部を第1の光束としてエタロンを透過させて第1の光検出手段に導くように構成し、前記出力光の他の少なくとも

一部を第2の光束として前記エタロンを透過させて第2の光検出手段に導くよう
に、かつ、前記第1の光束の前記エタロン中の光路長と前記第2の光束の前記エ
タロン中の光路長とは光路差を有するように構成し、前記第1、第2の光検出手
段で検出された前記第1、第2の光束の差を波長誤差信号とし、それに基づいて
前記レーザ光源の発振周波数を所定値に維持するように構成され、

前記レーザ光源および前記エタロンは基板上に設けられ、
前記基板を介して前記レーザ光源および前記エタロンの温度を所定に温度制御す
るための温度制御手段を有し、

前記エタロンの前記基板への固定端から前記エタロンを透過する前記第1の光
束の光軸までの距離にうち最短距離 h が $1/e^2 \times (\text{ビーム半径}a)$ （ここで e は自然
対数、 $1/e^2 \times (\text{ビーム半径}a)$ とは前記レーザ光の光強度分布がピーク強度に対
して $1/e^2$ となる強度をたどった時に生じる円の半径）の（1/10）倍以上4倍以下
であることを特徴とする光モジュール。

【請求項17】 前記エタロンは第1のエタロンと第2のエタロンを有するよう
に分割されており、前記第1の光束は前記第1のエタロンを透過し、前記第2の
光束は前記第2のエタロンを透過するように構成されていることを特徴とする請
求項16記載の光モジュール。

【請求項18】 前記 h が3ミクロン以上4mm以下であることを特徴とする請求項
16記載の光モジュール。

【請求項19】 前記基板上に設けられた前記エタロンは略直方体形状であり、
その高さは前記第1の光束半径の1/20倍以上4倍以下であることを特徴とする請
求項16記載の光モジュール。

【請求項20】 前記基板上に設けられた前記エタロンは略直方体形状であり、
その高さは3ミクロン以上4mm以下であることを特徴とする請求項16記載の光
モジュール。

【請求項21】 前記基板は凸部を有し、前記凸部上に前記エタロンが設けられ
、前記レーザ光源は前記基板の前記凸部以外の部分に台座を介して設けられてい
ることを特徴とする請求項16記載の光モジュール。

【請求項22】 前記エタロンを跨ぐように前記基板上に覆いが設けられている

ことを特徴とする請求項16記載の光モジュール。

【請求項23】 前記覆いは前記エタロンの温度を前記基板の温度に近づけるためのものであり、前記基板および前記エタロンに接していることを特徴とする請求項22記載の光モジュール。

【請求項24】 前記覆いは前記第1、第2の光束が前記第1、第2の光検出手段に到達可能とするための開口を有することを特徴とする請求項22記載の光モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は波長多重光通信システムに適用する光通信モジュールの分野に属する。すなわち、レーザ光源の発振波長を指定値にロックするための装置に関し、周囲温度変化に対して安定な動作をする光学系とその制御系を提供する。この光学系は波長ロッカーモジュールとして別個に動作させることも可能であるが、レーザ光源を有する光通信モジュールへの内蔵が可能である。

【0002】

【従来の技術】

光ファイバ通信は、長距離で高速大容量、かつ、強い電磁ノイズ耐性を持つため、高い信頼性を保証する通信システムの構築が可能である。このシステムでは一本の光ファイバに一つの波長の光を伝送させていたが、近年の大容量情報化社会の到来に伴って伝送容量の一層の拡大が要請されている。このため、一本の光ファイバに波長の異なる多数の光を伝送させ、通信のチャンネル数を増やして大容量化を実現する波長多重光通信システムの技術が実用化されるに至った。光ファイバ中を伝送する光の波長は、光ファイバの伝送損失が低い波長帯域が使われ、1.3ミクロン領域と1.5ミクロン領域が伝送のウインド（窓）と呼ばれている。これらのウインドの波長幅は限られているため、隣のチャンネルとの波長間隔を狭くすればするほど伝送のチャンネル数を増やすことができる。現在は、周波数間隔が200GHz、100GHzであるが、さらに50GHz、25GHzと狭くなる傾向である。波長間隔に直せばそれぞれ約1.6nm、0.8nm、0.4nm、0.2nm、0.1nmという狭

いものとなる。このように波長間隔が狭くなると、レーザ光源の波長を精度良く一定に保つ必要が生じる。なぜなら、レーザ光源の波長が揺らいで隣のチャンネルの波長に達すると、受信側で隣の波長チャンネルとのクロストーク（漏話）が発生し、情報通信の信頼性が保証できないからである。これらの波長（または、周波数）チャンネルはITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector) グリッドと称されており、ITU勧告として広く認知されている。

【0003】

この背景から、波長多重光通信のレーザ光源の波長を制御する方法が提案されてきた。例えば、波長選択素子として、誘電体多層膜フィルタ、あるいは、ファブリペロエタロンなどを導入し、半導体レーザの動作温度にフィードバックして波長を固定する方法が工夫されている。特に、エタロンは多重干渉の次数に応じて繰り返し透過ピークが出現する特性があり、透過曲線の周期をITUグリッドに合わせて、一つの波長選択素子で複数の波長チャンネルに波長ロックをかけることが可能となる。例えば、特開平10-79723号公報では、エタロンを透過した光を二分割し、双方を光検知器で受光し、両者の差を波長誤差信号としてロックをかける方法などが提案されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上記エタロンには温度依存特性がある。すなわち、エタロンの温度が変わると屈折率の温度変化や線膨張係数のためにエタロンの光路長が変化し、エタロンの透過光の波長が変動する特性がある。このため、環境温度の変化に起因してそのエタロンを利用して波長ロックしたい波長値と実際のロック波長とにずれが生じるという問題が生じることを見出した。この現象はいわゆるトラッキング試験すなわち、波長ロッカーを内蔵したパッケージの周囲温度を例えば、0℃から70℃まで変えた時の波長ずれとして現れる問題である。本発明の目的の一つは、エタロンの温度依存性の影響を低減することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】

このような課題を解決する手段を説明する。すなわち、本発明による解決手段は、該波長誤差検出素子であるエタロンの取りつけ部が、ホルダーを含む半導体レーザ集光光学系の取りつけ部よりも高くなっている基板上に取りつけ、さらにその基板が電子冷却素子の一端に接するという手段をとるものである。あるいは、上記エタロンを金属などの熱伝導率の高い材料で被い、エタロン中の温度分布が最小になるか又は十分に小さくなるような手段をとるものである。

【0006】

【発明の実施の形態】

図1は本発明による波長ロックのベースとなる制御ループを説明するものである。すなわち、波長可変レーザ光源100は、例えば、DFB(Distributed Feed Back)型やファブリペロー型の半導体レーザである。あるいは、DFB型半導体レーザに電界吸収型の変調器を集積化した光源である。このような波長可変レーザ光源100は、図2に示すように動作温度Tの変化に伴い発振波長が変化するので、ITU-TSグリッドに対応する波長を動作温度で選択することができる。すなわち、波長可変レーザ光源100、集光レンズ105、ビームスプリッタ106、光検知器110、エタロン108、光検知器109、サーミスタ403などが後の説明する図6に記載のシステム300の下にある熱電子冷却素子401上に搭載されており、熱電子冷却素子401の駆動回路402により、レーザ100の温度をサーミスタ403の抵抗値に応じた温度に保持することができる。一方、波長可変レーザ光源100の前方の射出光は、コリメータ101でコリメートされ光アイソレータ102、フォーカスレンズ103を経て光ファイバ104に結合され、情報伝送される。

【0007】

本波長制御ループは、スイッチ405によって閉じられていた、温度制御ループ488を波長制御ループ489に切りかえることによって閉じる構成となっている。まず、波長可変レーザ光源100の後方からの射出光をコリメータ105でコリメートし、光路分割器（ビームスプリッタ）106で透過光107と反射光に分割する。光路分割器106は三角プリズムを張り合わせた形状、あるいは、接着剤を嫌う場合は、薄い平行平面板に誘電体薄膜を着けたものである。反射

光は光検知器110で光電変換され、レーザ光源100の出力モニターとなって、あらかじめ設定された光出力の値と比較されて駆動回路404により、レーザ光源の出力値を一定に保つ。

【0008】

また、本発明による波長誤差検出のための光学系の構成は次の通りである。すなわち、該透過光107はさらに、エタロン108に至り、エタロンの内部で多重反射した各々の光が互いに干渉し、式(1)で表される透過ピークが得られる。

【0009】

$$I_t = 1 / (1 + F \sin^2(\phi)) \quad \dots \dots (1)$$

ここに、

$$F = 4R / (1 - R)^2 \quad \dots \dots (2)$$

$$\phi = (2\pi n t / \lambda) \cos \theta' \quad \dots \dots (3)$$

である。図3に示すように、Rはエタロン108の各面の膜反射率、nはエタロンの屈折率、tはエタロンの厚さ、λは光の波長、そして、θ'はエタロン内で光線のなす角度である。

【0010】

ここで、スネルの法則

$$\sin \theta = n \sin \theta' \quad \dots \dots (4)$$

が成り立つ。さらに、透過光の繰り返しひークの間隔はフリースペクトルレンジ(Free Spectral Range) F S Rと呼ばれる。それは波長域では、

$$FSR = \lambda^2 / 2 n t \quad \dots \dots \quad (5)$$

周波数域では、光速を c として、

$$FSR = c / 2 n t \quad \dots \dots \quad (6)$$

で与えられる。従って、エタロンの厚み t 、屈折率 n 、膜反射率 R を設計すれば、FSRをITU-TSグリッド間隔に一致させることができる。FSRをITU-TSグリッドに一致させることは、広い波長範囲に渡って所望の鋭い波長選択特性を持った波長誤差検出を実現することを可能とする。こうして、所定の波長間隔で存在する所望の波長での光の複数の透過領域を有せしめ、この光の複数の透過領域の何れかが前記レーザ光源が所望する発振波長に対応させることができる。

[0 0 1 1]

透過ピークは、図4のように波長の変化と共に繰り返し現れ、その間隔は、前述のようにフリースペクトルレンジ (Free Spectral Range/FSR) と呼ばれ、式(5)や(6)で表される。かくして得られるエタロンの透過光は、図1における光検知器109で受光されて光電流に変換される。一方、光路分割器106の反射光は、光検知器110で受光されて光電流に変換される。そして、目的の波長誤差検出信号は、前述のように光出力モニタ用の光検知器110に流れる光電流 P_m と、エタロン108の後におかれた波長モニタ用の光検知器109に、式(1)に従って流れる光電流 P_t の差を誤差信号A(λ)となす。

[0 0 1 2]

$$A(\lambda) = P_t - P_m \dots \dots \dots (7)$$

誤差信号としては、光量で正規化した信号、

$$A(\lambda) = (P_t - P_m) / (P_t + P_m) \dots\dots\dots(8)$$

を用いることも適切である。

【0013】

かくして得られた高い感度を持つ波長誤差信号値A(1)がゼロ、あるいは、一定の値になるように図1に図示の半導体レーザ100の温度制御素子401の駆動回路402へフィードバックするものである。ここで、式(7)あるいは(8)で表される誤差信号が所望のITUグリッド波長の一つの近傍を捕獲するためには、あらかじめ、サーミスタ403の値から半導体レーザの温度を読み取り、図2にしたがって得られる温度と波長の関係から、該近傍に動作温度を定めておく必要がある。しかるのち、スイッチ405を波長ロックループに切り替えるものである。一方、半導体レーザの出力を一定に保つためのAPC(Automatic Power Control)は、やはり、光検知器110の出力を設定値と比較し、半導体レーザ100の駆動電流制御回路404にフィードバックする。以上が波長ロックの制御ループを説明するものである。

【0014】

ここで、エタロンの透過ピークの半値幅の値である ϵ とFSRの比はフィネスΦと呼ばれ、エタロンの反射率Rとの間に

$$F = 4 R / (1 - R)^2 \dots\dots\dots (9)$$

$$\Phi = (\pi \sqrt{F}) / 2 \dots\dots\dots (10)$$

$$\Phi = F S R / \epsilon \dots\dots\dots (11)$$

の関係がある。従って、エタロンの鋭い分光特性、即ち小さな ϵ の値を得るには、エタロンの両面の反射率が高く、また、両面での反射を繰り返し多数回生じさせる必要がある。そのためにはエタロンへの入射光の角度が垂直近傍となる必要がある。

【0015】

以上がエタロンによる波長誤差の検出原理であり、この原理に基づいて構成されたのが図5に示す光通信モジュールである。

すなわち、半導体レーザ光源100からの光を前方のコリメートレンズ101で集光し、光アイソレータ102を経て絞り込みレンズ103に到り、ファイバ104に結合される。一方、半導体レーザの後方の光は、後方に置いたレンズ105により集光され、ビームスプリッタ106で分割され、一方は光検知器110に到って光出力レベルのモニタとなる。今一方の光はエタロン108を通過し光検知器109に到り図4に示した波長誤差検出カーブが得られる。これらの光素子はシステム基板300上に搭載され、さらにシステム基板300は電子冷却（ペルチ）素子401の上に搭載されており、半導体レーザ素子等のデバイス温度を所定に制御する。これにより、主に半導体レーザの発振波長を一定に保つ。

【0016】

ここで、エタロン108も温度は一定に保たれているべきであるが、パッケージ700の周囲温度が変化すると、熱の伝導、輻射、対流に起因して、パッケージ内に温度分布が発生する。エタロンの温度はその部位によって異なってくることが判明した。例えば、エタロンが基板に取り付けられている場合、取り付け部近傍の温度と、そこから離れた場所とでは、エタロンの温度は異なることとなることが判明した。換言すれば、エタロンの取り付け部近傍とそれより上部とでは温度差が生じることが判明した。故に、エタロン内での光の通過場所の温度が周囲温度の変化に伴って変化する。一方、エタロンには温度特性があり、次式に従って透過波長が変化する。そこで、温度変化に対する透過ピークの変動量を見積もると次の通りである。すなわち、図3に基づく垂直入射の場合のエタロンの基本式より、

$$2 n t = m \lambda \dots \dots \dots \quad (12)$$

今、温度上昇 ΔT による光路長変化を δ とし、波長が $\lambda + \Delta \lambda$ で透過ピークが得られたとすると

$$2 (n t + \delta) = m (\lambda + \Delta \lambda) \dots \dots \dots \quad (13)$$

が成り立つ。一方、 δ は、線膨張係数を ($\alpha = dt/dT$) として、光路長 nt の全微分をとり、

$$\begin{aligned}\delta &= ((dt/dT)t + n(dt/dT)t) \Delta T \\ &= ((dn/dT) + n(dt/dT)) t \Delta T \dots\end{aligned}\quad \dots\dots\dots (14)$$

となる。(12)(13)(14)より、

$$\Delta\lambda = (\lambda/n) ((dn/dT) + n(dt/dT)) \Delta T \dots\dots\dots \dots (15)$$

が得られる。すなわち、透過波長の温度係数はエタロンの厚さには依存せず、①屈折率の温度係数を①、線膨張係数と屈折率との積を②とすると、①と②との和として表わされる。エタロンの材料として通常用いられる合成石英の屈折率は、 $n=1.444687$ (波長1500nmにおいて)、 $n=1.443492$ (波長1600nmにおいて)の値から線形近似した式は式(16)で表される。

【0017】

$$n = 1.462612 - 0.01195 \lambda \dots\dots\dots (16)$$

で得られる。動作波長1550nmを代入すれば、屈折率は、 $n=1.444$ となる。また、屈折率の温度係数は 8.5×10^{-2} である。従ってこの場合のエタロンの温度係数は

$$\Delta\lambda = 0.009 \Delta T \text{ nm} \dots\dots\dots (17)$$

となる。図6は従来の構成で、パッケージの中身を側面図として示したものであ

る。レーザ光源100の後方出力をコリメータレンズ101でコリメートし、エタロン108に到らしめる。透過光は光検知器109で受光される。これらの部品はシステム300の上に搭載されており、さらに、熱電子冷却素子（ペルチエ）401に接触している。

パッケージの周囲温度が、例えば、光通信モジュールの環境温度として標準的に指定されている0°Cから70°Cまで変化した時、エタロン内の光が通過する場所199の温度をシミュレーションで求める。その結果は、例えば70°Cの時の温度が、27.2°C、0°Cの時が23.76°Cとなり、温度差3.44°Cが発生する。この温度差は、式(17)のエタロンの透過波長のずれに換算すると、30.96pmとなる。この値はグリッド間隔400pmの7.7%となり、高く要求されているロック精度を越えることになり問題である。図7は波長のずれを図示したものである。このずれを解消することが本発明が解決すべき課題である。

【0018】

本発明による第1の実施例を図8に示す。すなわち、電子冷却素子401に熱接触させた基板300に突出部分197を形成し、波長選択素子(例えば、エタロン)108のうち透過光が通過する部分199と突出部の上端とを限りなく近く配置する。これにより波長選択素子の温度変化に対する光モジュールの波長ロック特性変動の影響を低減することが可能である。すなわち、図18に示すように、半導体レーザ100の集光ビームの強度分布198を、ガウス分布で近似したときのビーム半径aを、その強度がピーク値のeの二乗分の一、すなわち、約13.5%に減ずる径を半径aと定義した時、集光光198の中心軸のエタロンの下端から測った高さhが、

$$a/10 < h < 4a$$

あるいは、

$$a/20 < h < 2a$$

の範囲に設定するものである。ここで、取りつけ台180には、レンズ101の位置決めのために、凹状、あるいは、V状の溝が形成されている。数値例としては、半導体レーザ光源100のビームを、焦点距離が0.5mmないし1.0mm、開口数が0.15ないし、0.6のコリメータレンズでコリメートした場合、ビームの半径aは約

75ミクロンから600ミクロンとなる。このため、 h の範囲は 約3ミクロン以上、4mm以下となる。

【0019】

本発明による第2の実施例を図9に示す。すなわち、波長選択素子108の高さを低くし、実質的に該波長選択素子の高さが該透過光の光束径と等しくしたものである。この構造をとれば、パッケージの上蓋から該波長選択素子の上部までの距離が大きくなり、パッケージ全体の周囲温度の変化の影響が低減される。

【0020】

本発明による第3の実施例を図10に示す。すなわち、波長選択素子108を熱伝導性の高い材料、例えば、金属196で被い、電子冷却素子（エタロンなど）108に接した基板401と温度差が生じにくい構造とする。また、透過光199（図ではエタロン108を透過する光を199と図示している。）の光束径と同様大きさの窓を覆い196の端面に設けてもよい。またはその端面部は覆い196が存在せず、光束が覆い196に干渉されずにエタロン108へ導かれる構造でもよい。この構造をとれば、波長選択素子108は熱シールドされ、パッケージ全体の周囲温度の変化の影響が低減される。

【0021】

本発明による第4の実施例を図11に示す。すなわち、半導体レーザ100からのビームを分割する方法として、図1の構成のようなビームスプリッタ106を本実施例では用いない。その代替として、波長選択素子108を突出部197の平面の片側に寄せ、ビームの一部を素通りさせて（波長選択素子108を通過されることなく）光検知器110に到らしめる。他のビームは波長選択素子108を通過させる。波長選択素子108を通過させる光束108と、それを通過させない光束108との間の波長誤差検出を行う。このような構成においても、波長選択素子の温度特性は問題になり、本発明の実施例に係る構成を探ることが望ましい。すなわち、波長選択素子108のうち、光が通過する部分が熱伝導度の高い材料に接する構造とするものである。さらに、波長選択素子の上部うち光が通過しない部分はカットし、パッケージの上蓋からの距離を大きくすることで波長選択素子108の温度上昇を抑止するものである。

【0022】

また、本発明による第5の実施例を図12に示す。すなわち、波長選択素子108を熱伝導性の高い材料196で被い、電子冷却素子に接した基板401と温度差が生じないような構造とする。かつ、透過光199の光束径と同一の窓を形成するものである。この構造をとれば、波長選択素子が熱シールドされ、パッケージ全体の周囲温度の変化の影響が低減される。

【0023】

本発明による第6の実施例を図13に示す。すなわち、コリメート光の分割を上述の左右ではなく、上下に分割し、エタロンの厚さをさらに薄くして光モジュールのパッケージの蓋（図示していない。）からの距離を大きくし、エタロン内の温度分布差を低減するものである。エタロン108上方の空間が大きくなるので、結果的にエタロン108の上部に位置する蓋との距離が大きくなるためである。この場合光検知器109、110は左右ではなく上下に近接して配置される。

【0024】

さらに、本発明による第7の実施例を図14に示す。すなわち、図13で示したコリメート光の分割方法において、波長選択素子108を熱伝導性の高い材料196で被い、電子冷却素子に接した基板401と温度差が生じないような構造とする。この構造をとれば、波長選択素子が熱シールドされ、パッケージ全体の周囲温度の変化の影響が低減される。

【0025】

本発明による第8の実施例を図15に示す。すなわち、半導体レーザ100からの発散光をレンズ101で集光し、やや発散したビーム177を形成する。そして、エタロン108をやや斜めに配置し、左右に近接して並べた二つの光検知器へ到るビームがそれぞれ異なった光路長をもってエタロンを通過せしめる。かくすれば、図4で示した波長応答特性が二つの光検知器でやや左右にシフトして現れるので、両者の差をとれば、波長誤差信号が得られる。このような波長誤差検出光学系において、電子冷却素子に熱接触させた基板401に台形197を形成し、波長選択素子108のうち透過光が通過する部分199と台形の上端とを限りなく近く配置することにより、パッケージ全体の周囲温度の変化の影響を低減

するものである。すなわち、半導体レーザ集光光学系101の台180の取りつけ高さが、波長選択素子、エタロン108の下端よりも低く設定するものである。さらに、波長選択素子108の高さを低くし、実質的に該波長選択素子の高さが該透過光の光束径と等しくしたものである。この構造をとれば、パッケージの上蓋から該波長選択素子の上部までの距離が大きくなり、パッケージ全体の周囲温度の変化の影響が低減される。

【0026】

また、本発明による第9の実施例を図16に示す。すなわち、波長選択素子108を熱伝導性の高い材料196で被い、電子冷却素子に接した基板401と温度差が生じないような構造とする。かつ、透過光199の光束径と同一の窓を形成するものである。この構造をとれば、波長選択素子が熱シールドされ、パッケージ全体の周囲温度の変化の影響が低減される。

【0027】

図17は本発明による第10の実施例である。すなわち、本発明による光送信モジュール310をITUグリッド波長のチャンネル毎に用意し、それらを多数並べ、波長合波器320に繋いで一本のファイバ330に波長多重化する。多重化された各々の波長は信号を乗せて光ファイバ内を長距離に渡って伝送される。例えば、およそ、600km伝播するとファイバの損失により信号量が減衰する。このため、光ファイバ増幅器からなる中継器340が必要となる。光ファイバ増幅器としてはEDFA(Erbium doped fiber amplifier)が普及しており、C-バンドとよばれる帯域でのチャンネル信号を一括して増幅する。この波長領域は約32nmであり、波長間隔が0.8nmの場合は40チャンネル、0.4nmの場合は80チャンネル活用できる。いくつかの中継器を経た信号は分波器350で波長分光され、各々のチャンネル毎に設置した受信モジュール360によって電気信号に変換される。このような大容量の波長多重通信において、チャンネル間のクロストークを除去するためには、本発明による安定した波長ロック機構が重要な役目を果たす。

【0028】

以上説明したように、本発明の実施例による基本要素からなる構成を解決手段

に取れば、光学的、電気的に安定な波長ロックの制御ループを閉じることが可能となり、エタロンの性能を最大限に活用することが可能となる。すなわち、波長選択の分解能、光利用効率、レーザ光源モジュール内部への実装密度向上、機械的な安定性、温度変化に対するロック波長ずれの補正などの観点から、これまで不可能であった技術課題の解決が実現する。しかも、本発明の波長制御方式を活用すれば、半導体レーザの発振波長をロックできるだけでなく任意のITU-TSグリッドへの波長移動と波長ロックが可能となり、波長多重光通信装置や、波長チャネルのルータ装置に不可欠のレーザ光源を提供するものである。

【0029】

【発明の効果】

本発明によれば、波長ロック光学系で波長誤差検出素子の温度特性に起因する波長ロッカのロック目標の範囲からのずれを低減可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1は波長制御ループの構成図である。

【図2】

図2は半導体レーザの発振波長と温度の関係である。

【図3】

図3は本発明によるエタロンの動作原理図である。

【図4】

図4は本発明によるエタロンの波長分光特性である。

【図5】

図5は波長ロッカ部を内蔵した光通信モジュールである。

【図6】

図6は従来の波長ロック光学系の構成例である。

【図7】

図7は従来の波長ロック光学系では、周囲温度の変化で透過特性がずれることを示す図である。

【図8】

図8は本発明による波長ロック光学系の構成例である。

【図9】

図9は本発明による波長ロック光学系の構成例である。

【図10】

図10は本発明による波長ロック光学系の構成例である。

【図11】

図11は本発明による波長ロック光学系の構成例である。

【図12】

図12は本発明による波長ロック光学系の構成例である。

【図13】

図13は本発明による波長ロック光学系の構成例である。

【図14】

図14は本発明による波長ロック光学系の構成例である。

【図15】

図15は本発明による波長ロック光学系の構成例である。

【図16】

図16は本発明による波長ロック光学系の構成例である。

【図17】

図17は本発明による波長ロック光学系を内蔵した送信モジュールを適用した波長多重光通信装置の図である。

【図18】

図18は半導体レーザ100の集光ビームの強度分布198を、ガウス分布で近似したときのビーム半径aを説明するための図である。

【符号の説明】

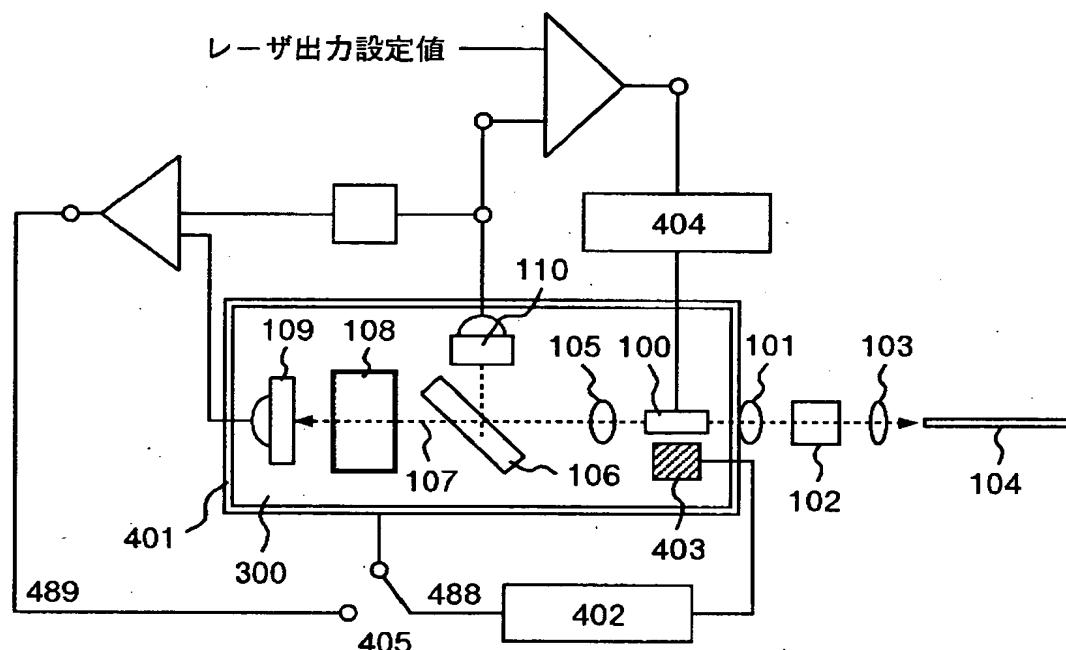
100：波長可変レーザ光源。101：コリメータレンズ。102：光アイソレータ。103：レンズ。104：光ファイバ。105：集光レンズ。106：ビームスプリッタ。107：透過光。108：波長選択素子。109：光検知器。110：光検知器。199：光束。197：台。196：金属蓋。177発散、または、収束光。300：システム基板。310：波長ロック内蔵送信モジュール

。320：合波器。330：ファイバ。340：中継器。350：分波器。360：受信モジュール。401：熱電子冷却素子。402：温度制御回路。403：サーミスタ。700：パッケージ。701：基板。702：サブアセンブリ。

【書類名】 図面

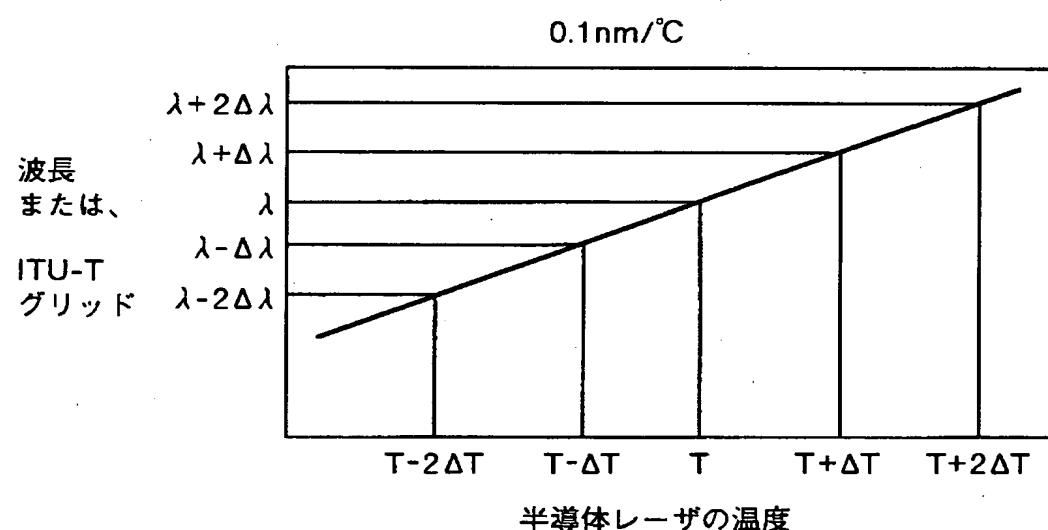
【図1】

図 1



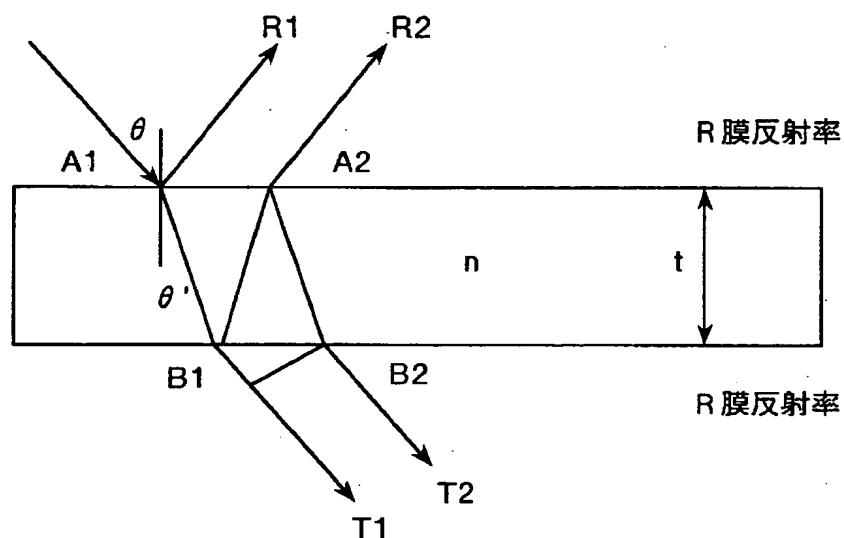
【図2】

図 2



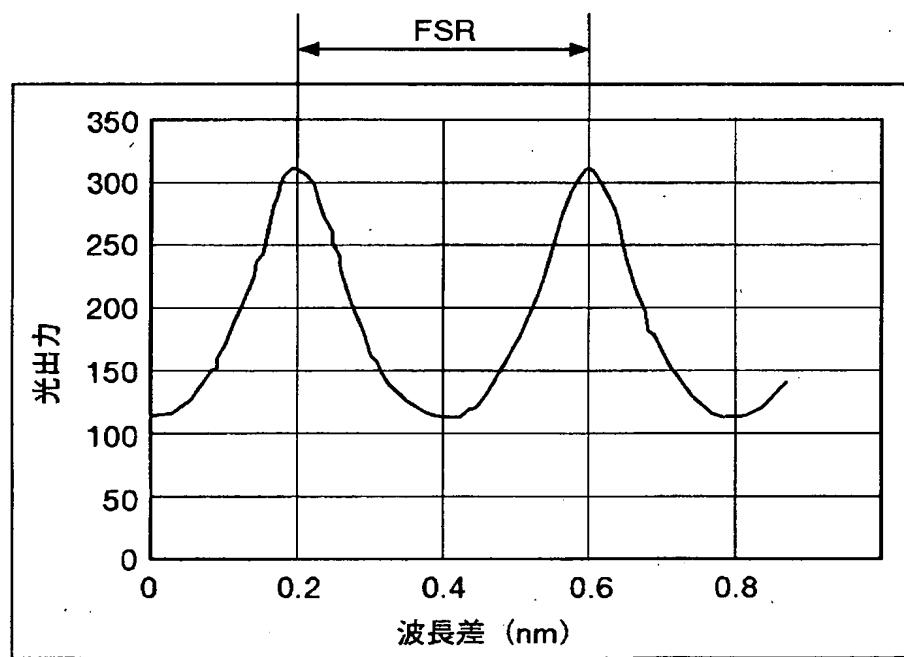
【図3】

図 3



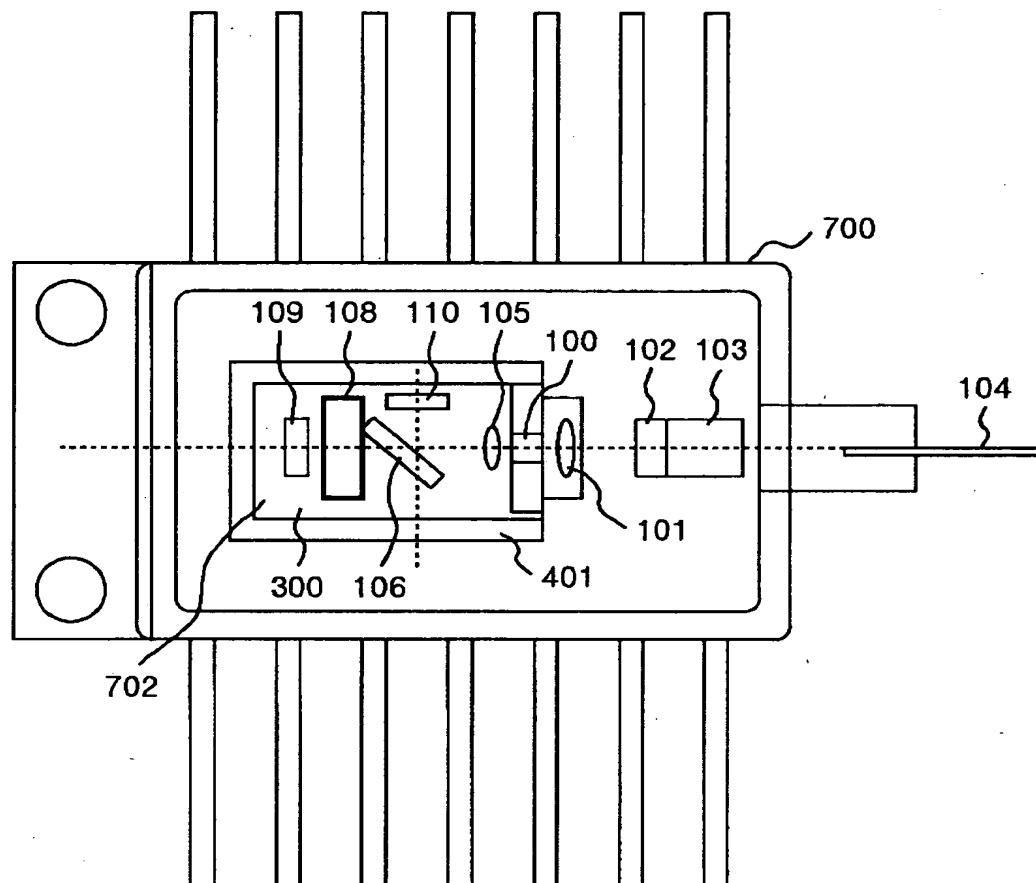
【図4】

図 4



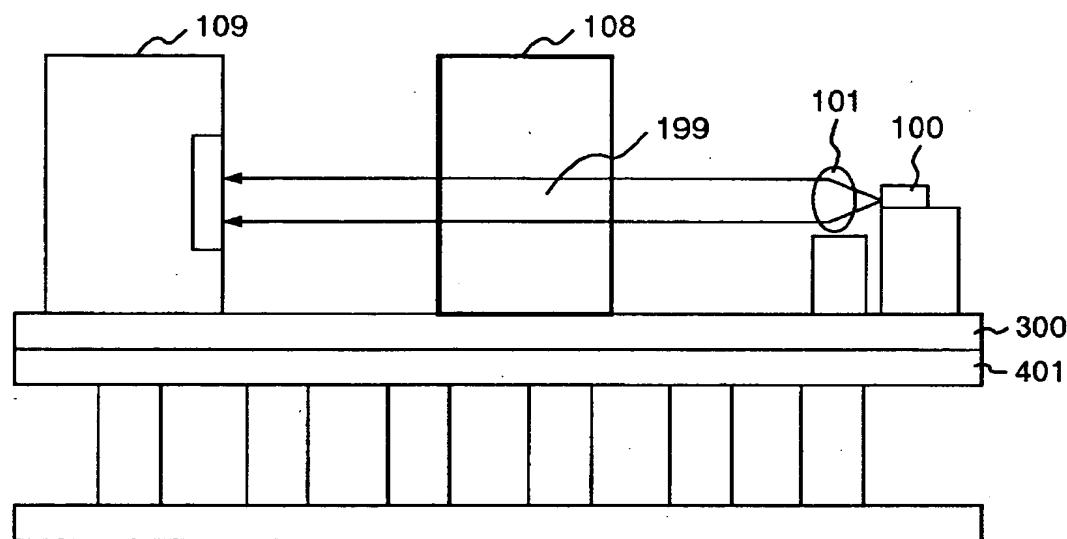
【図5】

図 5



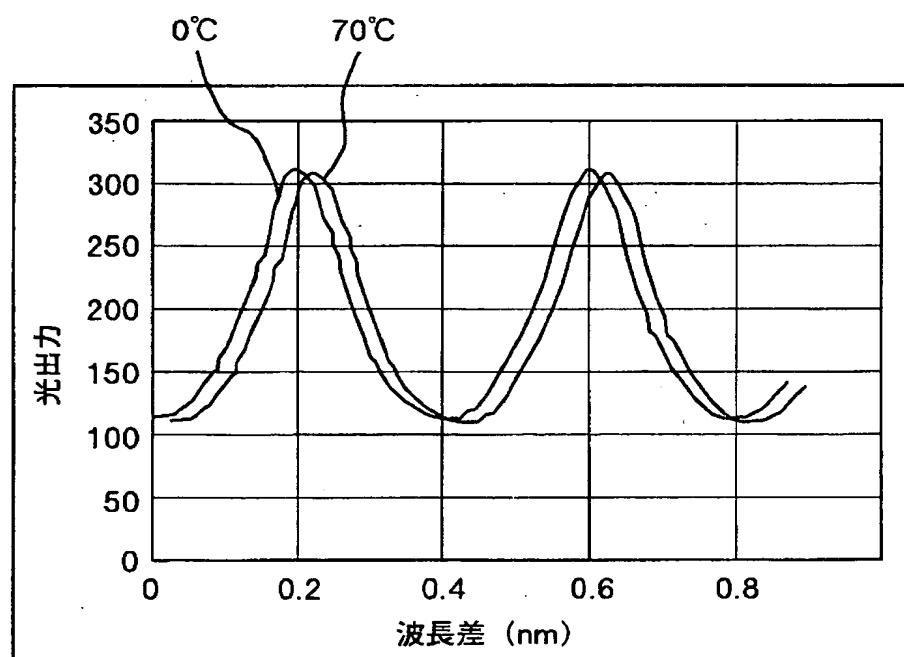
【図6】

図 6



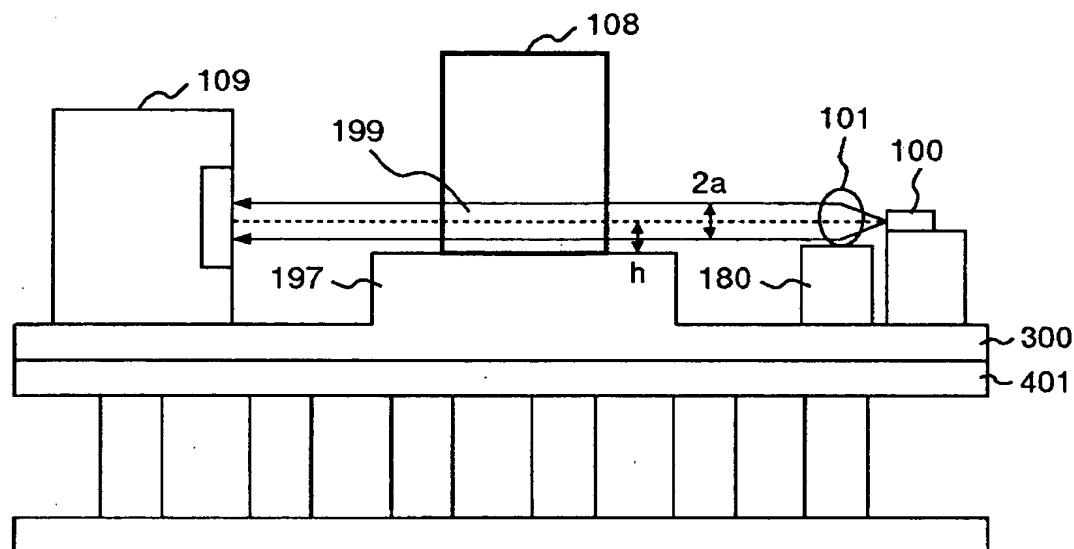
【図7】

図 7



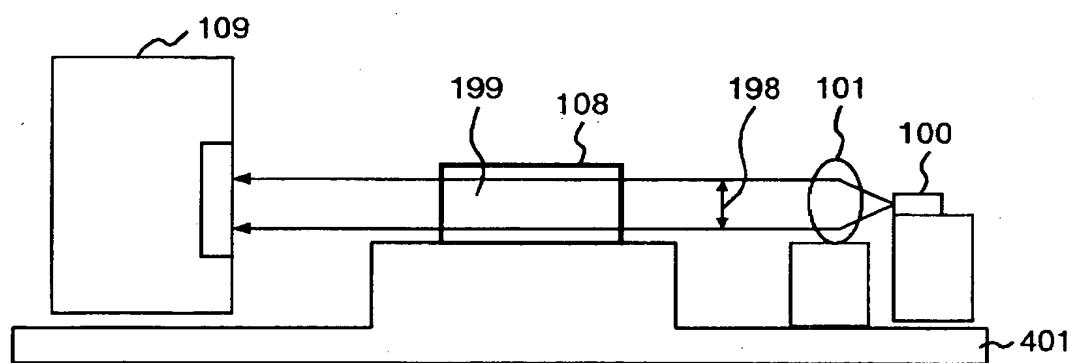
【図8】

図 8



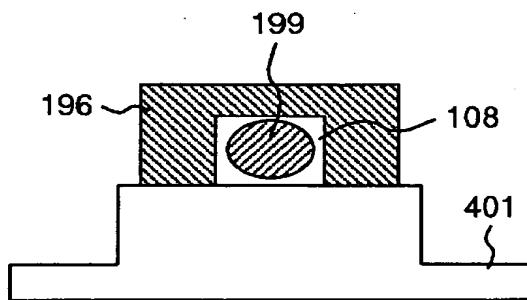
【図9】

図 9



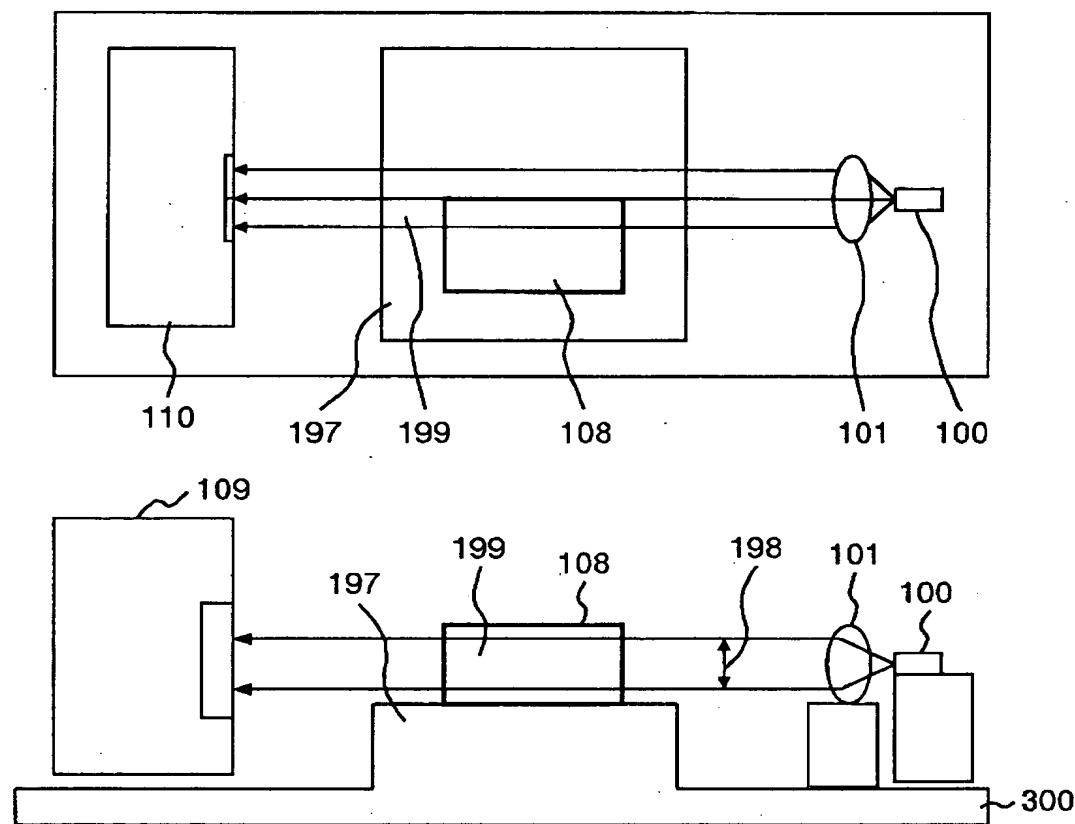
【図10】

図 10



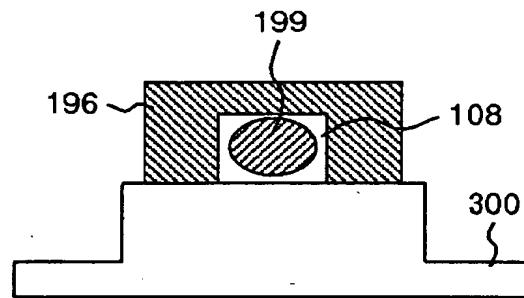
【図11】

図 11



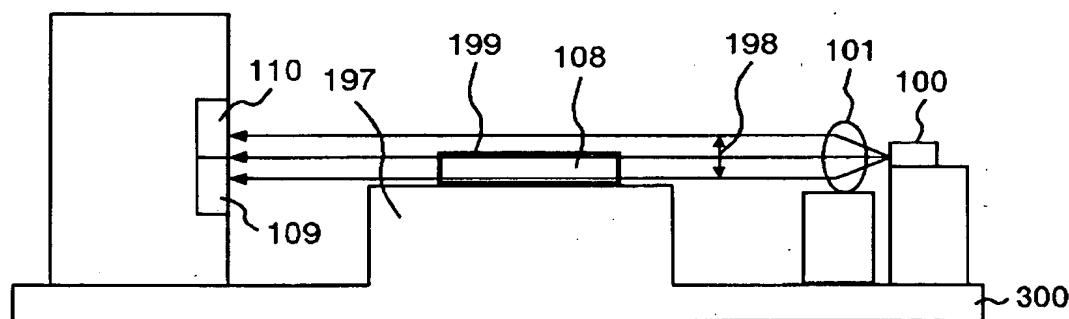
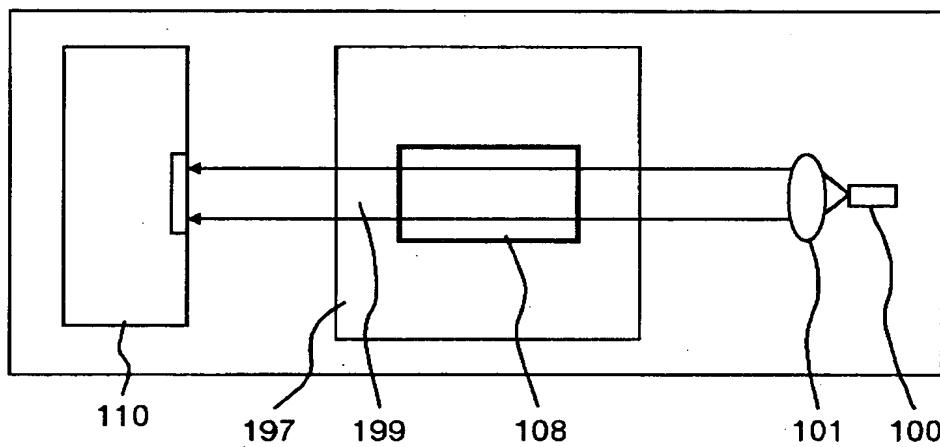
【図12】

図 12



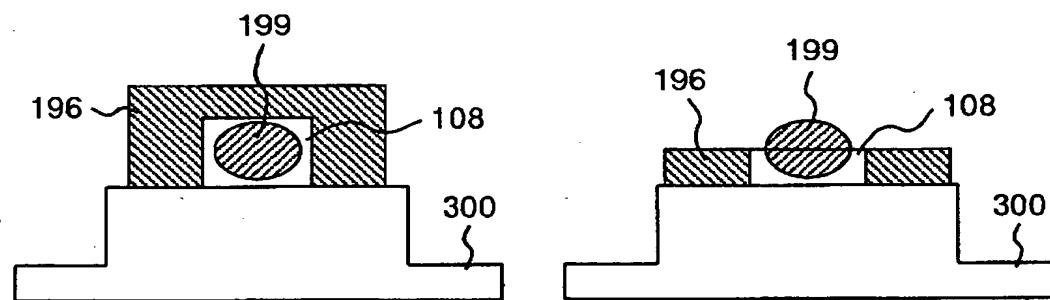
【図13】

図 13



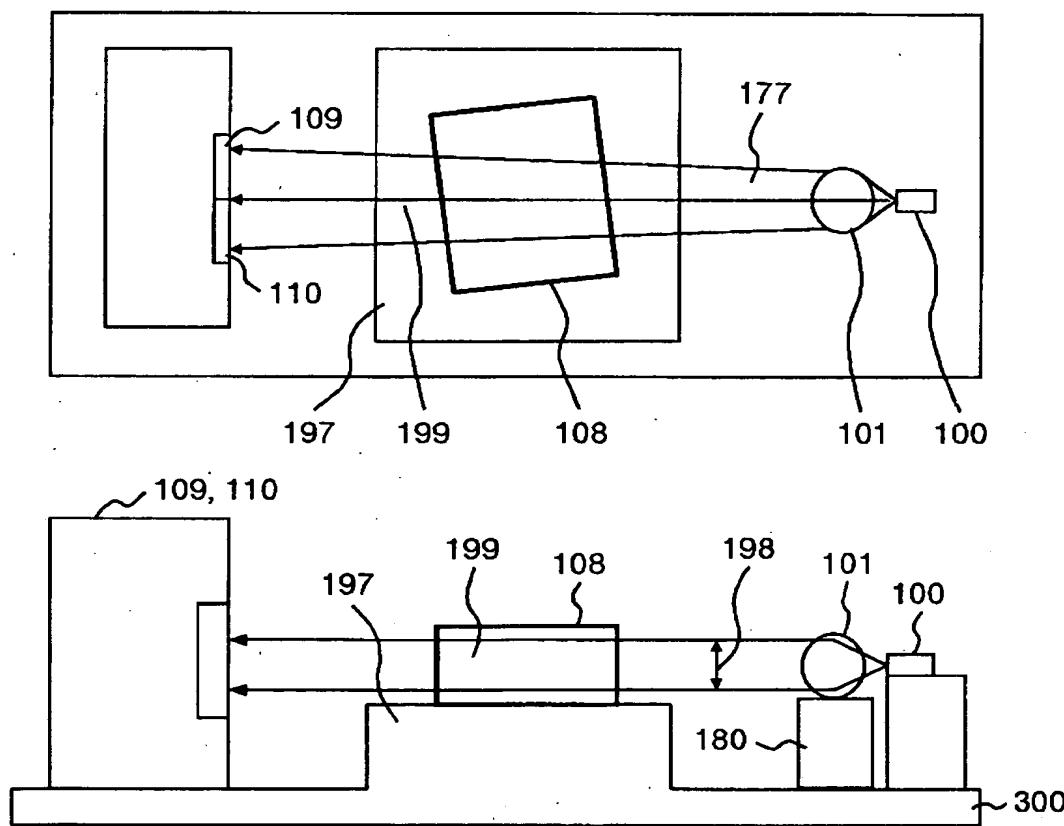
【図14】

図 14



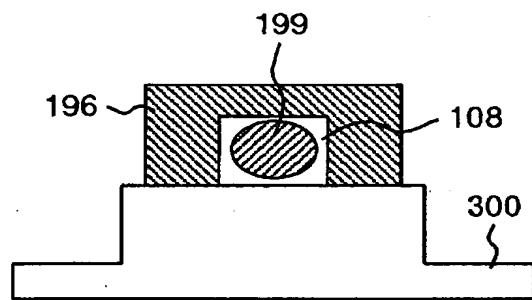
【図15】

図 15



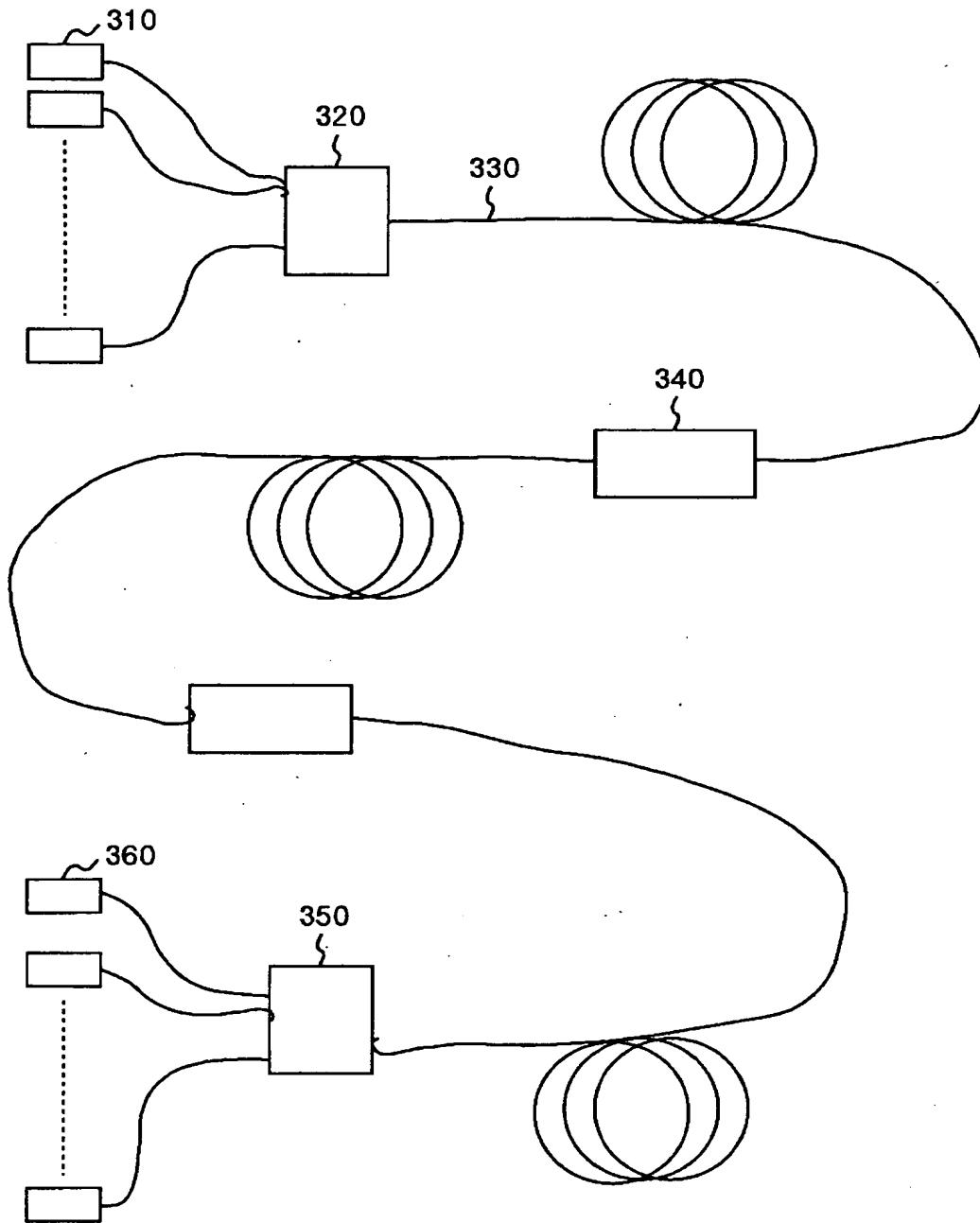
【図16】

図 16



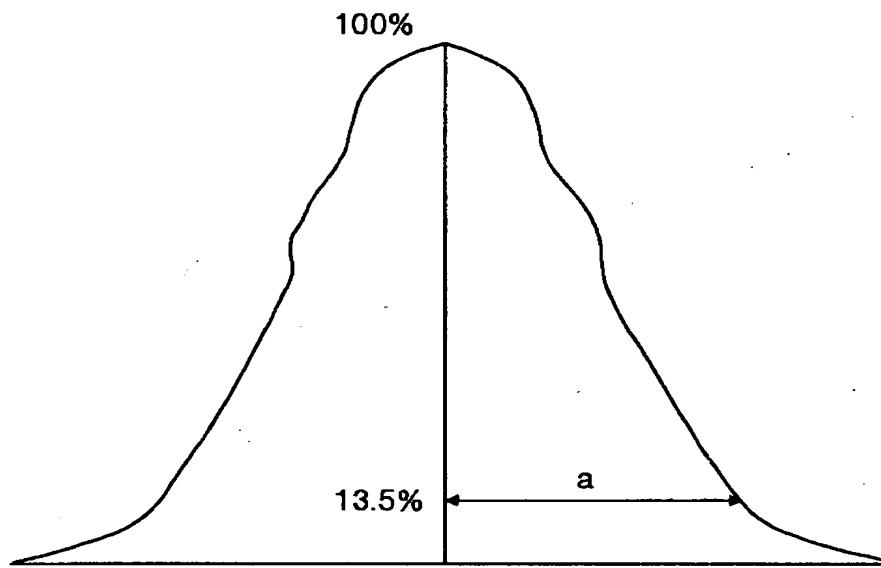
【図17】

図 17



【図18】

図 18



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 開示技術が改善すべき課題は、波長ロック光学系で波長誤差検出素子の温度特性に起因して、周囲温度の変化で検出波長がずれるため、ロック目標の範囲からはずれることにある。

【解決手段】 そのための解決手段は、波長誤差検出素子中の光が通過する部分が熱伝導率の高い材料で接する構造とすることにある。

【選択図】 図9

出願人履歴情報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地
氏 名 株式会社日立製作所

出願人履歴情報

識別番号 [301005371]

1. 変更年月日 2001年 3月16日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地

氏 名 日本オプネクスト株式会社